



Hur kan inköpskostnaden på torr råvara för
pelletstillverkning variera beroende på typ av
råvara?

*How can the purchase cost on dry raw material for pellet
production vary depending on type of raw material?*

Magdalena Olsson

Kandidatarbeten i Skogsvetenskap

Fakulteten för skogsvetenskap

Sveriges Lantbruksuniversitet

Enhet/Unit	Institutionen för skogens ekologi och skötsel Department of Forest Ecology and Management
Författare/Author	Magdalena Olsson
Titel, Sv	Hur kan inköpskostnaden på torr råvara för pelletstillverkning variera beroende på typ av råvara?
Titel, Eng	How can the purchase cost on dry raw material for pellet production vary depending on type of raw material?
Nyckelord/ Keywords	<i>Bioenergi, massaved, mätmetoder, statistisk jämförelse, Torrhaltsinnehåll/ Bioenergy, measurement methods, pulpwood, solids content, statistical comparison.</i>
Handledare/Supervisor	Michael Finell, Institutionen för Skogens biomaterial och teknologi/Department of Forest Biomaterials and Technology
Examinator/Examiner	Tommy Mörling, Institutionen för skogens ekologi och skötsel/Department of Forest Ecology and Management
Kurstitel/Course	Kandidatarbete i skogsvetenskap Bachelor Degree in Forest Science
Kurskod	EX0592
Program	Jägmästarprogrammet
Omfattning på arbetet/	15 hp
Nivå och fördjupning på arbetet	G2E
Utgivningsort	Umeå
Utgivningsår	2015

FÖRORD

I ett samarbete med pelletsindustrin Rindi Energi AB i Älvdalen har en omfattande mätning på råvaran för pelletstillverkning gjorts. Undersökningen syftar till att öka företagets förståelse för hur torrhaltsmängden per inköpt m³ fub massaråvara varierar mellan olika råvarutyper. Förhoppningsvis ska detta arbete kunna användas som en riktlinje för vilken råvarutyp företaget och även andra liknande företag tjänar mest på att köpa in i framtiden. Rapporten ingår i ett kandidatarbete på Jägmästarprogrammet vid Sveriges Lantbruksuniversitet i Umeå och motsvarar 15 högskolepoäng. Arbetet och datainsamlingen genomfördes sommaren 2012.

Jag vill tacka Rindi Energi AB, särskilt Tomas Wiklund, råvaruchef som varit till stor hjälp och visat ett enormt engagemang och intresse i denna studie.

Jag vill även rikta ett stort tack till min handledare Michael Finell som bidragit med stöttning och kunskap inom ämnet.

Umeå 2015-05-13

Magdalena Olsson

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

.....	1
<i>Förord</i>	2
Sammanfattning	4
Summary	5
Inledning	6
Material och metod	8
Råvara och provtagning	8
Mätmetoder	9
Beräkningar	10
Statistiskt test	10
Resultat	12
Råvara och provtagning	12
Mätmetoder	14
Beräkningar	15
Statistiskt test	18
Sammanställt resultat	19
Diskussion	20
Mätmetodernas säkerhet	21
Slutsats	21
Referenser	23

SAMMANFATTNING

För att undersöka hur inköpskostnaden på torr råvara för pelletstillverkning hos Rindi Energi AB kan variera beroende på råvarutyp, gjordes mätningar och beräkningar på råvaran. Sex olika massavedstyper ingick i studien, där fukthalt och torrhalt mättes med två olika mätmetoder. Industrin köper in massaved baserat på volym (m^3fub) och målet med denna studie var att räkna ut hur mycket man egentligen betalar per ton för den torra råvaran som i slutändan blir pellets. Utifrån mätningarna och inköpspriset på massavedsråvaran har inköpspriset per ton torrsubstans räknats ut.

Ett tvåsidigt parat t-test utfördes för att påvisa eventuella signifikanta skillnader mellan de båda mätmetoderna. En liten signifikant skillnad påvisades mellan mätmetoderna, men den ansågs inte påverka resultatet i stort.

Inköpspriset för de olika råvarutyperna landade mellan 911- 994 kr per ton inköpt torrsubstans. De två prover som uppvisade högst inköpskostnader var prov nummer två (994kr) som bestod av tall från gallring och prov nummer sex (991kr) som hade lagrats utan bevattning i 1-2 år. Den klart lägsta inköpskostnaden per ton torrsubstans uppvisade prov nummer fyra (911kr), som bestod av tall från slutavverkning. Övriga tre prover landade på 928-946 kr per ton torrsubstans och kom alla från gallringar.

Rindi Energi AB och även andra pelletsindustrier som köper in råvara i kr per m^3fub har mycket att tjäna på att i så stor grad som möjligt styra vilken råvarutyp de köper in. Resultatet påvisar de nackdelar som finns med att köpa in råvara mätt i m^3fub för pelletsindustrier och förhoppningsvis kan studien öka förståelsen för detta.

Nyckelord: Bioenergi, massaved, mätmetoder, statistisk jämförelse, torrhaltsinnehåll.

SUMMARY

To investigate how Rindi Energi ABs purchase cost on solid raw material for pellet production varies depending on raw material type, measurements and calculations on raw material was made. Six different pulp wood types were included in the study, where moisture content and solids content was measured using two different methods. The industry purchase pulpwood based on volume (m^3fub) and the goal of this study was to find out how much they actually pay per ton dry matter, which in the end is pelleted. The purchase price per ton dry matter was calculated based on measurements and price of the raw material.

A two-tailed paired t-test was performed to detect any significant differences between the two measurement methods. A small significant difference was detected but it was not considered to affect the results in general.

The purchase price for the different raw material types landed between 911- 994 kr per ton purchased dry matter. The two samples that showed the highest cost was sample number two (994kr), which consisted of pine from thinning and sample number six (991kr) which had been stored without irrigation for 1-2 years. By far the lowest purchase cost per ton dry matter was shown in sample number four (911kr), which consisted of pine from final felling. The other three samples all came from thinning and had costs between 928- 946 kr per ton dry matter.

Rindi Energi AB and other pellets industries, which purchase their raw material in $\text{kr}/\text{m}^3\text{fub}$ has much to gain if they to the greatest extent possible control which type of raw material they buy. The result demonstrates the disadvantages of purchasing raw material measured in m^3fub for pellet industries and hopefully this study can increase the understanding of this problem.

Keywords: Bioenergy, measurement methods, pulpwood, solids content, statistical comparison.

INLEDNING

Pellets är en form av biomassabränsle som fungerar till de flesta användningsområden så som till exempel pannor och kaminer för husuppvärmning och centrala värmesystem (Brans, 2003). Bränslet har en fast cylindrisk form som framställs av träråvara, där storleken på pelletarna oftast varierar mellan 6- 8 mm i diameter (Melin, 2005). Pellets är ett homogent material vad det gäller form och storlek med låg fukthalt och hög densitet. Pelletstillverkning innebär en vidareförädling av träråvara där sågspån torkas, mals och under högt tryck pressas samman till cylindriska partiklar. Fördelen med att pressa samman spånet på detta vis är att man får ett kompakt material som innehåller mycket energi per volymenhet (Bateman et al. 2009). Inga tillsatser behövs för att binda ihop materialet eftersom fukten mellan träfibrerna skapar kemiska bindningar mellan fibrerna då pelletsen torkas (Robinson, 1984).

Råvaran trä är däremot ett heterogent material där dess egenskaper kan variera beroende på en mängd olika faktorer så som trädslag, ålder, växtplats, fukthalt mm. Detta gör att pelletstillverkningsprocessen är komplicerad och det kan vara svårt att veta hur dessa egenskapsvariationer i råvaran påverkar slutprodukten (Folk & Govett, 1992).

Företaget Rindi Energi AB är ett av de svenska företag som tillverkar pellets. Man har två stycken bioenergikombinat där man tillverkar bränslepellets, ett i Älvdalen och ett i Vansbro, båda belägna i Dalarnas län (Rindi Energi AB, 2015).

I detta arbete har studierna genomförts på plats på den industri som finns i Älvdalen. Rindi Energi AB köper in råvara i form av massaved för ett fast pris per m^3 fub och flisar sedan virket på terminal för att till slut pelletera råvaran. Att man köper in råvaran per m^3 fub innebär att man använder ett omvandlingstal för att räkna bort barkvolymen, eftersom denna inte ska ingå i måttet som betyder m^3 under bark (Eriksson, 2011).

Vägen till slutprodukten pellets är lång, där råvaran går igenom flera steg innan man till slut har färdig pellets för försäljning. På Rindi Energi AB köper man framförallt in massaved inom en radie på 10 mil från industrin i Älvdalen, vilket innebär att träden vuxit någonstans i Nordöstra Dalarna. Timmerbilar kör in till mätstationen där en virkesmätare väger, mäter och samlar in en mängd information om massaveden. Sedan barkas och flisas den där barken gå till bränslepannan. Flisen är det som kommer att bli slutprodukten pellets. Hos Rindi Energi AB använder man inga tillsatser i pelleteringsprocessen, vilket gör att slutprodukten består av 100 % träråvara. När massaveden barkats och flisats sållas flisen och de grövre bitarna flisas en gång till för att få en jämn storlek. När man uppnått en jämn storlek på flisen lagras den till dess att den körs in i bandtorken och sedan vidare till trumtorken då den torkas ytterligare ner till ca 8 % fukthalt. Därefter blåses flisen upp i en cyklon i taket för att sedan ramla ned till en kvarn som mal sönder flisen till pulver. (Stahl et al., 2004). Nu har man det färdiga pulvret som därefter går in i pelletspressarna. Efter att de är pressade till färdiga pelletar åker de in i ett kylrum för nedkylning och till sist körs de ut på ett transportband till färdigvarulagret. Här ska pelletsen lagras i ca två veckor för att hinna bindas ihop och bli fast innan den går iväg till försäljning (Wiklund, 2012).

Massaveden man köper in har som sagt ett fast pris per m^3 fub, men som naturligtvis varierar beroende på marknaden. Även om det är ett ganska litet område som Rindi Energi köper in sin massaved från kan massaråvaran ha varierande kvalitet beroende på en mängd faktorer så som trädslag, växtplats, ålder och om det vart lagrat eller inte. Dessa kvalitetsskillnader i

råvaran gör att olika typer av råvara är olika lämpliga att använda för pelletstillverkning, även om inköpspriset per m^3fub är detsamma för all massaved. Den faktor som avgör vilken råvara som ekonomiskt sett vore bäst att köpa in är hur stor andel torrsubstans massaveden innehåller, eftersom slutprodukten pellets består av 100 % träspån. Det är alltså bara den torra substansen i råvaran som till slut pelleteras (Hirsmark, 2002).

Slutprodukten pellets kan vara av olika kvalitetstyper, där de olika kvalitéerna har olika prisklasser (Dell et al. 2003). Målet för Rindi Energi AB är att hela tiden producera pellets av den högsta kvalitetsklassen som också ger bäst betalt. Förutsatt att detta mål uppnås vill man sedan producera så stor mängd pellets som möjligt, eftersom pellets säljs i kr/ton. Det betyder att det är önskvärt att köpa in råvara som genererar i stora volymer pellets, vilket görs genom att köpa in den råvara som innehåller flest ton torrsubstans per m^3fub . I dagsläget köper företaget som sagt in olika typer av råvara i kr/ m^3fub , där ton torrsubstans per m^3fub kan variera mellan de olika råvarutyperna. Detta gör att man betalar olika mycket för varje ton producerad pellets, även om man sedan säljer vidare pelletsen med ett fast pris per ton. Det är alltså otroligt avgörande för den ekonomiska utvecklingen vilken råvara man väljer att köpa in (Mani, 2005). Rindi Energi AB insåg 2012 detta och ville göra en undersökning som kunde visa vilken råvara de faktiskt kan tjäna mest på att köpa in. Alltså ta redan på vilken råvarutyp som innehåller flest ton torrsubstans per inköpt m^3fub och på så vis ta redan på vilken råvarutyp som är billigast för företaget att köpa in för varje ton torrsubstans. Jag fick då i uppgift att genom mätningar och studier på olika råvarutyper räkna ut vilken av de sex råvarutyper som ingick i studien som faktiskt innehöll flest ton torrsubstans per m^3fub .

Syftet med studien är att undersöka några av de vanligaste råvarutyperna som Rindi köper in med avseende på ton torrsubstans per inköpt m^3fub massaved. Detta för att veta vad varje ton torrsubstans kostar att köpa in för de olika råvarutyperna. Det görs genom att använda två olika typer av mätningar på råvaran, ”torkskåpsmetoden” och ”Eurofinsmetoden”. Dessa båda mätmetoder jämförs sedan med varandra genom ett parat t-test för att undersöka om det verkar finnas några statistiskt signifikanta skillnader mellan de båda mätmetoderna.

MATERIAL OCH METOD

Råvara och provtagning

Studien har gjorts på sex stycken olika råvarutyper som Rindi Energi AB köper in och samtliga mätningar är gjorda på flisen efter att flisning av virket skett förutom mätningen av m^3 fub som gjorts på massavedstraven. Grundarbetet genomfördes under en två veckor lång period sommaren 2012 på plats i Älvdalen, där industrin finns. Under denna studietid styrde industrin sina råvaruflöden så att mätningarna underlättades.

I studien mättes råvaran in när lastbilarna kom med massaveden till terminal och tre lastbilslass av varje råvarutyp mättes in. Genom att ta hela tre lass av varje prov har mätningarna gjorts på relativt stora volymer, vilket ger en större säkerhet på att mätningarna faktiskt blir typiska för just den specifika råvaran. Mätningarna började med att lastbilarna som kom in till terminalen med massaved vägdes med och utan last för att få råvarans vikt. Här gjordes även en mätning av volym tillsammans med Rindis virkesmätare. Det är denna volym mätt i m^3 fub som bestämmer priset som Rindi betalar för lasset. Samtidigt samlades en mängd annan information om råvaran in för att beskriva dess egenskaper i de olika proven. Den information som samlades in för varje massavedsprov vid inmätningen var följande:

- Volym
- Vikt
- Trädslagsblandning
- Ursprung (virkesordernummer)
- Årsringsbredd
- Gallring/ slutavverkning
- Lagrat/ ej lagrat

Efter att dessa mätningar genomförts följde jag med varje lastbilschaufför och såg till att de tre lass som kom från samma trakt hamnade i samma trave. När alla lastbilar mätts in hade jag således sex stycken massavedstravar som innehöll olika typ av råvara från olika trakter. När stammarna skulle barkas och flisas gjordes detta var för sig för de sex olika travarna och flishuggen tömdes mellan varje prov så att bark och flis från varje enskild provtrave kunde läggas i sex olika bark- respektive flishögar. Traktorföraren var här tillsagd att vara mycket noggrann vid transport av flisen för att minska eventuellt spill. Varje provhög med flis vägdes i traktorskopan som hade inbyggd våg för att se hur många kilo råflis som utvunnits ur varje prov med tre lastbilslass virke. Alla flishögar märktes med provnummer för att enkelt hålla koll under arbetets gång. Dessa sex olika högar av flis utgjorde råvaruproverna som alla vidare mätningar i denna studie gjorts på.

Att de olika råvarutyperna visade skilda fukthalter när de mättes in har inte tagits i beräkning i denna studie. Fukthalten avgör energiinnehållet i den råa veden och därmed hur mycket energi som krävs i pelletstillverkningsprocessen för att torka råvaran. Som sagt har denna faktor dock lämnats ute i denna studie där målet i stället har varit att undersöka torrhaltsandelen och därmed hur mycket pellets som faktiskt kan fås ut ur råvaran, oberoende av energitillgången i processen.

Mätmetoder

Först genomfördes alla mätningar på flisråvaran med hjälp av de mätinstrument som företaget själva normalt använder sig av och sedan med hjälp av ett företag som heter Eurofins som är specialiserade på olika typer av mätningar av flis och träprodukter. Dessa två olika testmetoder kommer fortsatt i texten att kallas för ”torkskåpsmetoden” respektive ”eurofinsmetoden”.

Med hjälp av dessa två mätmetoder räknades för varje metod ut hur många ton torrsubstans varje inköpt m³ fub massaved innehöll och därmed vad man betalat i inköpspris för varje ton torrsubstans. Båda mätmetoderna baseras på den ursprungliga inmätta volymen i m³ fub och kg råflis som mätts av traktorskopan.

Den första metoden, ”torkskåpsmetoden” är den som Rindi normalt använder sig av när de gör kontrollmätningar på råvaran. Mätningarna i denna metod gjordes av mig själv på industriområdet i Älvdalen genom att fukthaltsprover togs ur varje flishög för att sedan kunna bestämma hur stor andel av provhögarna som var torrsubstans. Här samlades två flisprover in på ca 300 gram från varje provhög. Fukthalten bestämdes genom att varje prov först vägdes för att få den exakta råvikten (A) och sedan torkades alla prover i torkskåp i 105 grader C i 24 h och därefter vägdes alla prover igen för att få torrvikten (B). De värden på råvaran som representerar denna metod är ett medelvärde av de två stycken 300 grams prov som tagits från varje av de sex flishögarna.

Den andra typen av mätning på flisen gjordes genom att de olika flistyperna skickades in på analys hos ett företag som heter Eurofins Environment Sweden AB, som med professionella mätverktyg gör en mängd olika mätningar på träråvara som t.ex. flis. Här skickades 2 stycken slutna 5 liters hinkar per prov in på analys och precis som i första metoden användes här ett medelvärde av fukthalt och torrhalt från de båda proven som togs ur varje provhög.

I de två olika testmetoderna genomfördes även mätningar av askhalten i de olika råvarutyperna. Detta är dock inget som tas med i själva studien, utan det gjordes endast för att kontrollera att halterna inte var för höga för att generera i klass 1 pellets, som kräver mindre än 0,7 % askhalt. Anledningen till att detta gjordes var för att företagets mål alltid är att producera pellets av högsta klassen (Ringman, 1995).

Beräkningar

I den första metoden kunde fukthalten bestämmas för varje prov eftersom råvikt (A) och torrsvikt (B) nu var kända. Detta gjordes enligt formel.

$$\text{Fukthalt, \%} = ((A-B)/A) * 100$$

Sedan beräknades torrsvikt genom:

$$\text{Torrsvikt \%} = 100 - \text{Fukthalt \%}$$

Fukthalt och torrsvikt i den andra metoden "Eurofinsmetoden" behövde jag inte räkna ut eftersom jag erhöll färdiga siffror på detta utifrån de mätningar de gjort med sina professionella mätinstrument.

När nu fukthalt och torrsvikt var kända för de båda metoderna hade jag tillräckligt med information för att kunna räkna ut hur många ton torrsvikt varje prov innehöll per inköpt m3 fub massaved. Samma beräkningar har då genomförts en gång för varje mätmetod baserat på de två olika metodernas mätvärden.

$$\text{ton råflis} * \text{torrsvikt} = \text{ton torrsvikt (TS)}$$

$$\text{Ton TS/ inmätt m3 fub} = \text{ton TS/m3 fub}$$

Nu räknades inköpspriset för varje kg torrsvikt enkelt ut då det var känt att inköpspriset per m3 fub var 379kr/m3 fub. I studien har alla beräkningar gjorts utifrån det pris som rådde för massaved vid studiens genomförande i juli år 2012.

$$379\text{kr/ ton TS/m3 fub} = \text{kr/ ton TS}$$

Att veta kr/ ton TS var huvudmålet med arbetet, eftersom man då vet exakt hur mycket man betalat för varje inköpt ton torrsvikt och därmed vilken råvara som genererar i mest pellets till samma inköpspris på torrsviktsen.

Statistiskt test

Att två olika mätmetoder användes var för att undersöka om den mätmetoden som jag genomförde med hjälp av torkskåp och som Rindi Energi AB vanligtvis använder sig av är trovärdig. Alltså om de båda mätmetoderna resulterar i snarlika siffror på energiinnehåll eller om det verkar finnas en signifikant skillnad mellan dem. Resultaten från de två mätmetoderna presenteras i resultatet först var för sig och sedan genomförs ett statistiskt test för att undersöka om skillnaderna i mätningarna mellan proverna verkar bero på ett samband eller om det är en slump. Det gjordes med hjälp av ett parat t- test för differenser i Microsoft Excel.

Dessa två olika mätmetoder presenteras i resultatet först var för sig och sedan genomförs det statistiska t- testet för att se om skillnaderna i resultat mellan proverna verkar bero på ett samband eller om det är en slump. Formeln för ett parat t- test för differenser är:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

Där,

\bar{x}_1 = Medelvärde av den första mätmetodens värden.

\bar{x}_2 = Medelvärde av den andra mätmetodens värden.

S_1 = Standardavvikelse för den första mätmetodens värden.

S_2 = Standardavvikelse för den andra mätmetodens värden.

n_1 = Totalt antal värden i den första mätmetoden.

n_2 = Totalt antal värden i den andra mätmetoden.

Signifikansnivån sattes till $\alpha = 5 \%$ och nollhypotesen bestämdes som följande:

H_0 : Mätmetoderna erhåller inga skillnader i mätvärden och medelskillnaden är lika med 0.

H_1 : Metoderna erhåller skillnader i mätvärden och medelskillnaden är skild från 0.

Signifikansnivån talar om med hur stor sannolikhet fördelningen beror på en slump (Samuels m.fl. 2012).

I slutändan presenterar studien ett övergripande resultat över vad varje råvarutyp kostar för företaget att köpa in per ton torrs substans, där resultaten från de två olika testmetoderna vägts samman genom att använda medelvärden. Detta gjordes för att skapa en övergripande bild över resultatet i studien.

RESULTAT

Råvara och provtagning

Som känt är det sex stycken råvaruprover som undersökts i denna studie där de olika proverna skiljer sig åt en del i egenskaper. En kort beskrivning av de olika proven baserat på den insamlade datan presenteras här som ger en övergripande bild av varje råvaruprov:

Prov 1 : Senvuxen färsk tall från gallring söder om Älvdalen.

Prov 2: Frodvuxen färsk tall från gallring. Mycket klen. Prov

3: Frodvuxen färsk tall och gran från gallring.

Prov 4: Senvuxen färsk tall från slutavverkning.

Prov 5: Senvuxen färsk tall från gallring norr om Älvdalen.

Prov 6: Gran och tall från både gallring och slutavverkning som lagrats på terminal utan bevattning i 1-2 år.

Eftersom alla råvaruprover i denna studie kommer från Nordöstra Dalarna är det inga enorma skillnader mellan proverna, men det ansågs ändå som nödvändigt att jämföra sex stycken olika prov för att skapa en tydlig bild av de variationer som råder mellan råvarutyperna vad det gäller torrhaltsandel. De prov som sticker ut mest är prov nummer fyra som kommer från slutavverkning och prov nummer sex som varit lagrat en längre tid. Resterande prov kommer från gallringar men här har rått lite olika växtförhållanden så variationer finns ändå när det kommer till hur frodvuxet virket är.

De provtagningar som gjorts på virket visar i tabell 1 nedan att virket är olika frodvuxet, eftersom årsringsbredden skiljer sig åt. Här redovisas även siffror på den inmätta volymen massaved och vikten på den flis som erhålls av varje prov efter att man barkat och flisat massaveden. Dessa siffror skiljer sig en del åt mellan de sex stycken olika proverna, men det beror på att alla prov inte vart exakt lika stora, även om tre stycken lastbilslass tagits av varje prov. Det spelar dock ingen roll för resultatets skull eftersom man i slutändan endast ser till hur mycket torrflis som utvinns per m³ inköpt massaved.

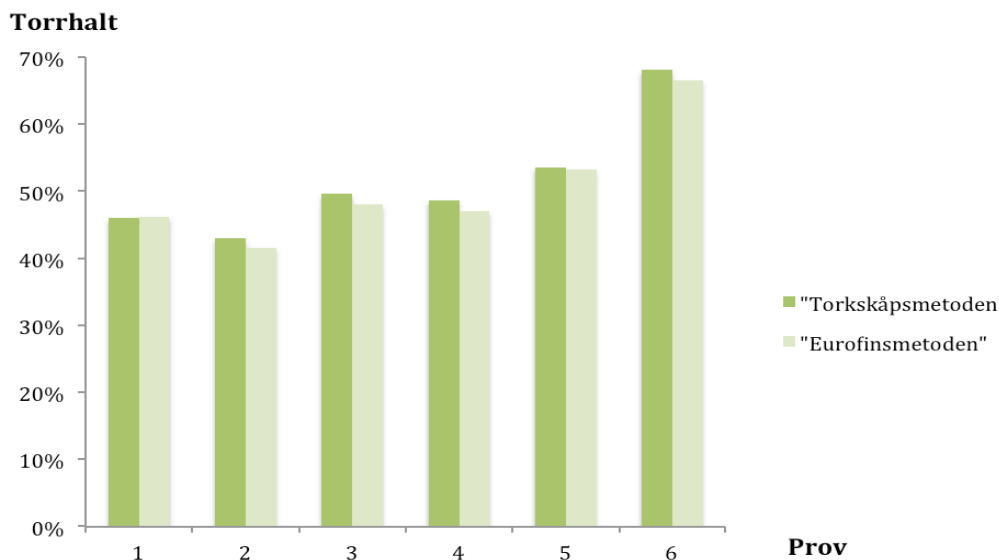
Tabell 1. Beskrivning av varje prov baserat på data som samlades in vid inmätning av råvaran i lastbil på terminal. Dessa volymer och vikter inkluderar de tre stycken lass med massaved som mättes in för varje prov

Table 1. Description of each sample based on the data that was collected when measuring the raw material on the terminal. These volumes and weights include the three loads of pulpwood that was measured for each sample

	Prov 1	Prov 2	Prov3	Prov 4	Prov 5	Prov 6
Volym, m ³ fub	134,44	119,89	126,80	117,16	124,17	132,17
Vikt råflis	116,85	108,15	106,15	102,00	94,70	75,15
Trädslag	Tall	Tall	Tall&gran	Tall	Tall	Tall&gran
Lagrat	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Ja
Gallring/ Slutavv.	G	G	G	S	G	G/S
Årsringsbredd	2 mm	3 mm	4 mm	1 mm	2 mm	1-5 mm

Mätmetoder

De båda mätmetoderna "Torkskåpsmetoden" och "Eurofinsmetoden" visar att de sex olika proverna som mätts in har en torrhalt som varierar mellan ca 32- 58 %. Först mättes fukthalten för att sedan kunna bestämma torrhalten eftersom det är den som är viktig då det kommer till hur stor mängd pellets som kan tillverkas. Resultatet efter att andel torrhalt räknats ut utifrån fukthalten visar att torrhaltsandelen har något lägre värden med "Eurofinsmetoden" än med "Torkskåpsmetodens", med det lilla undantaget för prov nummer ett. Tydligt verkar vara att prov nummer sex som vart lagrat utan bevattning i 1- 2 år har den klart högsta torrhalten (figur 2). Notera dock att detta bara visar hur många procent av flisens invägda vikt som är torrhalt och säger egentligen ingenting om hur mycket torrs substans i ton proverna innehåller för varje inköpt m³ fub massaved.



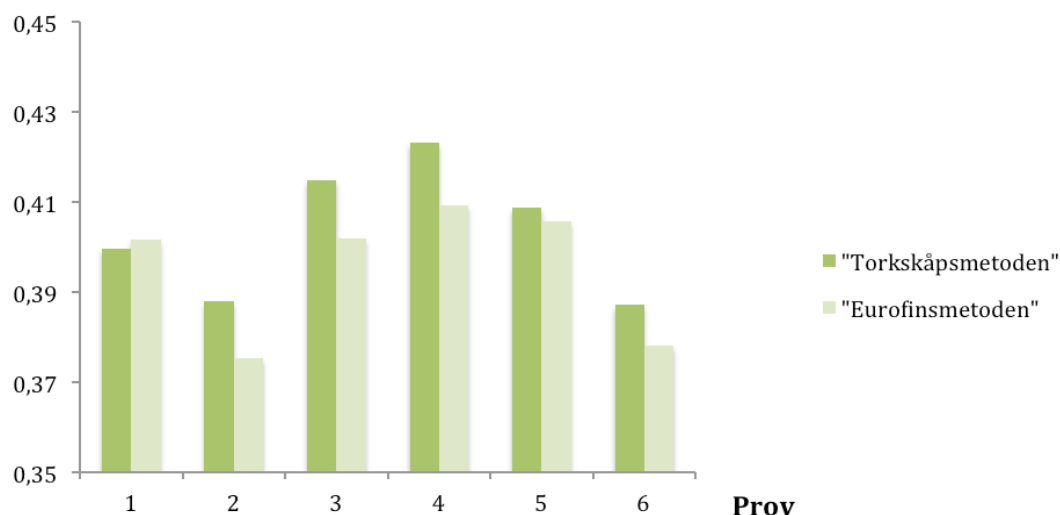
Figur 2. Resultat av torrhalt från "Torkskåpsmetoden" respektive "Eurofinsmetoden". Observera att båda värdena är medelvärden från två stycken olika prover som togs ur varje flishög för att få högre säkerhet. Noterbart är även att torrhalterna räknats ut utifrån flisens vikt

Figure 2. Result of solid content from "Torkskåpsmetoden" and "Eurofinsmetoden". Note that both values are averages from two different samples that was taken from each wood chip pile to get better certainty. Notably is also that the solid content is calculated based on the weight of the wood chips

Beräkningar

När nu torrhalten på flisen, råvikten på flisen och inmätt volym på massaveden i varje utav de sex proverna är kända kan man enkelt med hjälp av tidigare nämnda formler räkna ut hur många ton torrs substans som fanns i varje prov per inmätt m^3 fub. Figur 3 nedan visar att råvaruprov nummer två och sex innehåller minst antal ton torrs substans per inmätt m^3 fub massaved, medan prov nummer fyra innehåller mest. Konstateras kan att de båda mätmetodernas olika resultat skiljer sig en del åt och även om det inte ser ut att vara enorma skillnader i denna tabell kan dessa skillnader ha stor ekonomisk påverkan.

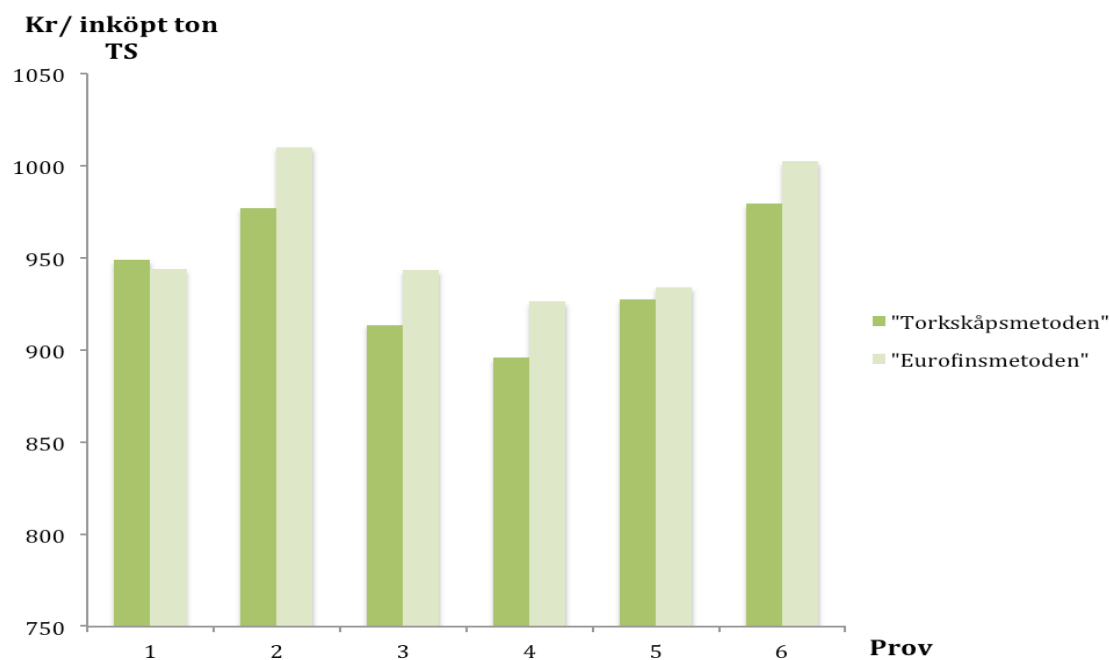
Ton TS/ m^3 fub



Figur 3. Hur många ton torrs substans (TS) varje inköpt m^3 fub massaved innehåller i de olika proverna. Notera att dessa beräkningar är gjorda baserat på de två olika torrhalterna för "Torkskåpsmetoden" och "Eurofinsmetoden" som presenterades tidigare i figur 2

Figure 3. How many ton solid content (TS) each bought m^3 fub pulp wood consists of in the different samples. Note that these calculations are made based on the two different values of the solid content for "Torkskåpsmetoden" and "Eurofinsmetoden" that was presented earlier in figure 2

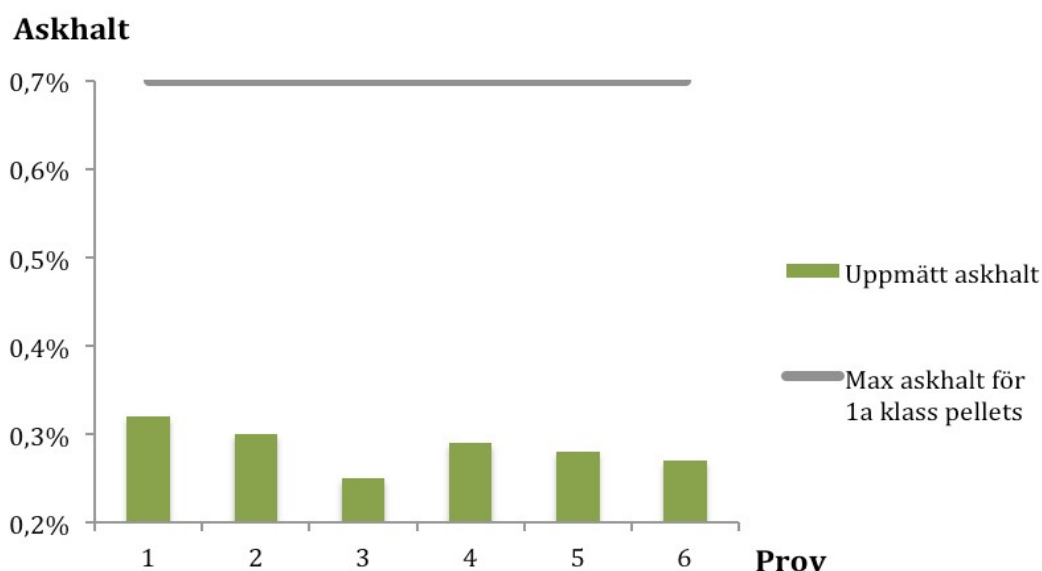
För att presentera siffror på hur mycket det kostat företaget att köpa in varje ton torrs substans i de olika proven har inköpspriset 279 kr/ m^3 fub använts. Här ser vi tydligt att det kostar olika mycket per ton inköpt torrs substans för de sex olika råvarorna (figur 4). Tydligt är att prov nummer två och sex har klart högre inköpspris per ton torrs substans än övriga prov. Som presenterat i inledningen var det första syftet med denna studie att undersöka hur priserna skiljer sig mellan proverna för varje inköpt torrt ton råvara per m^3 fub. Detta eftersom det är den torra råvaran som i slutändan pelleras då Rindis pellets består av 100 % sammanpressad träflis. Även här ser vi att det finns skillnader i resultatet för de olika mätmetoderna som kan ge stora skillnader i slutkostnad.



Figur 4. Kostnaden för företaget Rindi Energi AB att köpa in varje ton torrs substans i de sex stycken olika proverna. Figuren visar de två olika kostnaderna som är beräknade utifrån både "Torkskåpsmetoden" och "Eurofinsmetoden"

Figure 4. The cost for the company Rindi Energi AB to buy each ton of solid content for the six different samples. The figure shows the two different costs that is calculated based on both "Torkskåpsmetoden" and "Eurofinsmetoden"

Nämnas ska också att askhalterna i de olika råvarityperna mättes i denna studie för att kontrollera att samtliga råvarutyper låg under den gräns som krävs för att erhålla pellets i klass 1. Mer än så har inte askhalterna tagits med i några beräkningar. Detta eftersom det inte ansågs påverka resultatet, då samtliga analyserade prover låg långt under nivån 0,7 % askhalt som är kravet för att pelletsen ska klassas som högsta klass. Samtliga prover visade en askhalt på mellan 0,25- 0,32 %, alltså långt under gränsen (figur 5).



Figur 5. Stapeldiagram som visar värden på den uppmätta askhalten för samtliga prov i studien. Den gråa linjen visar den övre gräns på 0,7 %, som är den maximala askhalten pellets får innehålla för att klassas som den högsta kvaliteten

Figure 5. Staple chart that shows values of the measured ash content for all samples in the study. The grey line shows the upper limit of 0,7 %, which is the maximum ash content pellet can consist of to be classified as the highest quality

Statistiskt test

Redan presenterade resultat är framtagna separat för de båda mätmetoderna ”Torkskåpsmetoden” och ”Eurofinsmetoden”. För att undersöka om det finns en statistisk signifikant skillnad mellan resultaten från de två olika mätmetoderna gjordes ett två sidigt parat t- test. Detta test baserades på de två olika ursprungsmätningarna av torrhaltsandelen i % för de två testmetoderna. T-testet hade en signifikansnivå på 5 % och det visar att nollhypotesen som sa att det inte finns signifikanta skillnader mellan testmetoderna kan förkastas. Detta eftersom p- värdet är 0,0218 (Tabell 2), vilket är lägre än den satta signifikansnivån på $\alpha = 0,05$ och därmed finns det en signifikant skillnad mellan de två olika mätmetoderna.

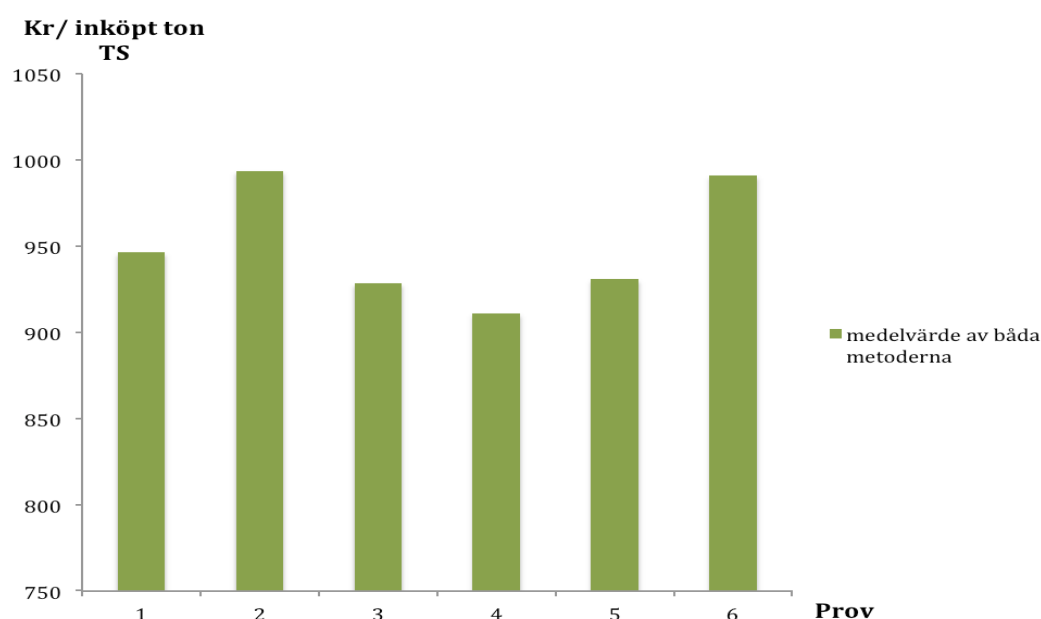
Tabell 2. Värden på torrhaltsandel i procent för de två olika mätmetoderna ”Torskåpsmetoden” och ”Eurofinsmetoden”. P värde från t- test, N= antal prov

Table 2. Values on solids proportion in percent for the two different test methods ”Torskåpsmetoden” and ”Eurofinsmetoden”. P- value from t-test, N= Number of samples

Provnummer	”Torskåpsmetoden”	”Eurofinsmetoden”	N	P-värde
1	45,97	46,20	6	0,218
2	43	41,6	6	
3	49,56	48	6	
4	48,61	47	6	
5	53,58	53,2	6	
6	68,07	66,5	6	

Sammanställt resultat

Som ovanstående resultat visar finns det en statistisk signifikant skillnad mellan de båda mätmetoderna där man kan anta att Eurofins mätning är den korrekta då den gjorts enligt certifierade mätmetoder på ett laboratorium. Dock presenteras här ett sammanställt resultat där ett medelvärde av de båda mätmetoderna använts för att visa kostnaden för varje ton inköpt torrs substans utifrån de båda mätmetoderna som den här studien baseras på. Denna, Figur 6, ger ett övergripande resultat som visar tydligt att prov nummer två och sex har de högsta inköspriserna för Rindi Energi AB per ton torrs substans. Det har kostat företaget 994 kr att köpa in varje ton torrs substans i prov nummer två och motsvarande siffra för prov nummer sex är 991 kr. Prov nummer två kom från en frodvuxen gallring, medan prov nummer sex var den massaved som legat lagrad på terminal utan bevattning i 1- 2 år. Den massaved som vart billigast att köpa in per ton torrs substans, med en kostnad på 911kr, är den i prov nummer fyra som kom från en slutavverkning. Övriga tre prover hade liknande inköspris per ton torrs substans, där prov nummer ett låg på 946 kr, prov nummer tre på 928 kr och prov nummer fem landade på 931 kr. Resultatet visar alltså en tydlig bild av att kostnaderna varierar mellan 911- 994 kr per inköpt kilo torrs substans i studiens sex olika prover (Figur 6).



Figur 6. Sammanställt resultat av kostnad i kr per inköpt ton torrs substans för de sex olika proverna, baserat på medelvärden av de båda mätmetoderna ”Torskåpsmetoden” och ”Eurofinsmetoden”

Figure 6. Compiled results of the cost in kr per bought ton of solids content for the six different samples, based on averages from the both measurement methods ”Torskåpsmetoden” and ”Eurofinsmetoden”

DISKUSSION

I denna studie där huvudsyftet har varit att räkna ut vad det kostade för företaget att köpa in varje ton torrsubbstans i de olika proverna, visar resultatet en varierad kostnad i de olika proverna. Prov nummer två som bestod av mycket klen och frodvuxen tall från gallring hade den allra högsta kostnaden på 994 kr per inköpt ton torrsubbstans. Att det var frodvuxen tall från gallring som lönade sig minst att köpa in var ganska väntat med tanke på att denna typ av virke ofta har låg densitet och därmed lägre andel torrsubbstans. Detta stöds av en studie som visar att träd som vuxit snabbt hinner bilda mindre andel cellväggsmaterial och andelen cellväggsmaterial som är detsamma som torrsubbstansen i trä kan starkt kopplas ihop med densiteten (Zink-Sharp, A. 2003).

Dock innehöll även prov nummer ett och fem gallringsvirke från tall, men hade bara inköpskostnader på 946 respektive 931 kronor, alltså är dessa betydligt billigare för företaget att köpa in. Vad dessa stora skillnader i inköpspris kan bero på, trots liknande virkestyper i proverna är svårt att säga, men enligt Kaalela-Brundin (1999) kan klimatkorrelationer mellan olika bestånd skifta otroligt mycket även om bestånden ligger nära varandra. Detta förklaras främst genom att topografiska faktorer har stor inverkan (Kaalela-Brundin, 1999).

Rindi Energi AB köper främst in massaved från ett begränsat område i nordöstra dalarna och i denna studie kommer all råvara från detta område. Man kan då som sagt fråga sig hur det kan skilja så mycket i hur stor andel torrsubbstans veden innehåller när det gäller samma trädslag från gallring i nordöstra Dalarna. Även Fritts (1986) kan ha en förklaring till detta, då han anser att träd från olika typer av ståndorter kan visa stor variation. Han menar att olika täthet i förband och frostbenägenhet kan skapa tillräckligt stora skillnader i växtbetingelser och mikroklimat att virkesegenskaperna kan uppvisa stora variationer (Fritts 1986).

Även prov nummer tre härstammade från en gallring, men inköpspriset per ton torrsubbstans i resultatet var lägre för detta prov än för de andra proverna som också kom från gallring. Att prov nummer tre stack ut kan ha en del av sin förklaring i att detta prov även innehöll granmassaved. Detta stöds av Johanssons rapport från 2010 som säger att gran växer långsammare i ett tidigt växtstadium än tall och kan därmed ha en högre densitet i de inre ringarna av trädet (Johansson 2010).

Det var inte bara prov nummer två som uppvisade en hög inköpskostnad per ton torrsubbstans, utan prov nummer sex kom tätt därefter med endast 3 kronor lägre kostnad per ton. Råvaruprov nummer sex bestod av mer tätvuxet virke men som däremot lagrats på terminal utan bevattning i 1-2 år. Kan det då vara själva lagringen som på något vis urholkat virket så det på så vis förlorat del av sin torrsubbstans? Enligt BooForssjö ABs miljörapport från 2005 krävs att lagrat virke har en hög fuktkvot för att undvika insektsangrepp. Eftersom massaveden i prov nummer sex i denna studie inte varit bevattnat kan alltså detta vara en förklaring, då insekter kan ha brutit ned delar av torrsubbstansen i veden.

Vidare menar Liukko (1997) att redan vid en fuktkvot (fuktkvot= vattnets vikt/ den torra vedens vikt) på under 100 % finns en ökad risk att massan ska bli drabbad av nedbrytande svampar. Om fuktkvoten sjunker så lågt som till 40 % försvåras även barkningen avsevärt, vilket leder till större flisförluster och därmed även förlust i torrsubbstans i förhållande till den inmätta volymen. Riktigt så torrt var dock inte prov nummer sex, men det faktum att det var mycket torrare än de övriga proven kan ha bidragit till högre torrsubbstansförluster.

Det slutliga resultatet i denna studie visade tydligt att prov nummer fyra som kom från en slutavverkning verkar vara billigast att köpa in per ton torrs substans och som nämnts tidigare har detta sin förklaring i att denna typ av virke har växt långsammare och fått en högre densitet. Det bästa verkar alltså vara att köpa in virke som inte vart allt för frodvuxet och därmed har en högre densitet och torrhaltsandel (Zink-Sharp, 2003).

Mätmetodernas säkerhet

Vad det gäller jämförandet av de två olika mätmetoderna som använts i denna studie kan konstateras att de skiljt sig åt. Eftersom t-testet visar att resultaten av de två olika mätningarna på torrhaltsandelen skiljer sig åt signifikant betyder det att skillnaderna inte beror på någon slump, utan att det finns ett samband som orsakat dessa skillnader i mätningarna. Detta bevisar att någon av mätmetoderna har en felkälla som påverkar resultatet. Eftersom den ena mätningen gjorts av Eurofins som gör sina mätningar utifrån certifierade standardmetoder bör dessa mätningar vara korrekta. Det innebär att "torkskåpsmetoden" som utförts av mig på plats har en felkälla. Enligt Grandin (2002) är det inte säkert att en statistiskt signifikant skillnad mellan två testmetoder har någon påverkan på resultatet. Detta måste betraktas utifrån frågeställningen och sedan bedömas om det har någon nämnvärd påverkan på resultatet. I detta fall kan det se ut som att det har en liten skillnad, men små skillnader i mätfel kan ha stor ekonomisk betydelse på ett år. Däremot pekar båda mätmetoderna åt samma håll och därför är det mycket troligt att trenden i resultatet stämmer (Grandin, 2002).

Fallet som rådde i denna studie var att resultatet som baserats på "Torkskåpsmetoden" uppvisade något högre värden på kr/inköpt ton torrs substans än "Eurofinsmetoden". Detta spelar ingen roll för att kunna göra en bedömning av stora skillnader sinsemellan de olika råvarutyperna, utan det påverkar bara de exakta siffrorna på inköpspriset.

Även om det finns en statistiskt signifikant skillnad så är alltså skillnaderna i mätvärden väldigt små. Dock gör små skillnader i mätning av torrhaltsandel stor skillnad när man ska beräkna exakt kostnad i kr/inköpt kg TS, vilket bevisar att en exakt TS bestämning kan vara mycket viktigt om man vill veta exakt vad inköpspriset kommer att bli.

Det kan diskuteras vad det var som egentligen skapade dessa mätfel i "Torkskåpsmetoden" och en rad olika förklaringar skulle kunna finnas. Även om hanteringen av flisen skedde mycket varsamt och mätningarna gjordes noggrant kan det inte hålla samma säkerhet som en certifierad mätmetod gjort på labb med specialutrustning, vilket gjordes med "Eurofinsmetoden".

Slutsats

Att mikroklimat kan skapas där olika växtförhållanden råder kan vara en del i förklaringen till att råvaruprov nummer två uppvisar den högsta inköpskostnaden. Det var ju även så att prov nummer två bestod av mycket klen och frodvuxet virke av tall, vilket betyder att virket hade en låg densitet. Det har troligtvis lett till att detta var råvaruprovet med den högsta fukthalten och därmed den lägsta torrhalten.

Prov nummer sex däremot hade den lägsta fukthalten men visade ändå en mycket hög inköpskostnad per ton torrs substans för varje inköpt m³ fub massaved. Detta verkar kunna förklaras av just bristen på bevattning. Den låga fuktkvoten i virket verkar ha orsakat en del substansförluster och därmed fick företaget i detta prov mindre råvara förr pelletstillverkning per inköpt m³ fub. Studien visar alltså tydligt att man förlorar på att köpa in råvara som varit

lagrad under en längre period utan bevattning.

Något som tydligt kan konstateras utifrån denna studie är att den råvarutyp som företaget Rindi Energi AB verkar tjäna mest på att köpa in är tätvuxen massaved som gärna ska komma från en slutavverkning. På så vis får man stor andel torrsubbstans per inköpt m³fub och därmed ett billigare inköpspris av råvara per producerat ton pellets.

Även om de båda mätmetoderna skiljde sig signifikant åt i studien pekade dem åt samma håll vad det gäller inköpspris för torrsubbstansen i de olika proven, vilket styrker de resultat jag fått. Det kan dock konstateras att det är viktigt med certifierade testmetoder som ger rätt resultat. Allra bäst vore om analyserna görs av ett oberoende certifierat laboratorium.

Det är svårt att utifrån denna studie se exakta resultat på inköpspriserna av torrsubbstansen, men förhoppningen är att resultatet ska kunna användas som en vägledning i stort om hur olika råvarutyper för pelletstillverkning skiljer sig åt. Studien ger en övergripande bild av hur inköpspriset för olika råvara skiljer sig åt per ton torrsubbstans och därmed vilken råvara i grova drag man bör rikta in sig på att köpa. Det kan konstateras att trä är ett otroligt heterogent material där det är svårt att i förväg bedöma exakt vad det är man köper in.

Förhoppningen är nu att resultaten i denna studie ska kunna ge en vägledning om vilken råvarutyp som lönar sig mest ekonomiskt sett att köpa in för Rindi Energi AB och även andra pelletsindustrier.

En annan förhoppning är att studien ska väcka uppmärksamheten om hur mycket råvaran för pelletstillverkning faktiskt kan skilja sig åt och därmed hur stor ekonomisk skillnad det kan göra om man har mer kunskap om råvarans egenskaper. Kanske kan studien också väcka intresset för att börja ta mer prover på råvaran och göra mätningar för att räkna ut vad man faktiskt tjänar mest på att köpa in. I långa loppet bör det också kunna konstateras att det vore bättre att köpa in råvara för pelletstillverkning i ton torrsubbstans än i m³fub. Förslagsvis skulle man kunna göra torrhaltsmätningar, liknande dem jag gjort i denna studie, på varje lass man köper in och på så vis betala utifrån mängd torrsubbstans i stället för enbart volym.

REFERENSER

- Bateman, P. Hansen, M. Hayes, S & Rosentoft Jein, A., (2009). *English handbook for wood pellet combustion*. [Elektronisk] Tillgänglig: URL http://www.pelletsatlas.info/pelletsatlas_docs/showdoc.asp?id=090313124119&pdf=true [2015-05-11].
- Brans, H. (2003). European Union Solid Wood Products Sustainable Forestry and the European Union 2003. USDA Foreign Agricultural Service GAIN Report Global Agriculture Information Network.
- Dell, G., Egger, C. & Öhlinger, C. (2003). Renewable Energy World, September-October 2003. Wood Pellets - tomorrow's fuel.
- Eriksson, U. (2011). *Inventering bränsleterminaler 2011*. [Elektronisk] Tillgänglig: URL <http://ny.sdc.se/admin/Filer/Inventering%20br%C3%A4nsleterminaler%202011.pdf>
- Folk, R.L. & Govett, R.L. (1992). A Handbook for Small-Scale Densified Biomass Fuel (Pellets) Manufacturing for Local Markets. University of Idaho, Department of Forest Products, Prepared for United States Department of Energy, Oregon.
- Fritts, H.C., Hughes, M.K. & Milsom, S.J. (1986). The climate-growth response, i Climate from tree rings, 33-38. Cambridge University Press.
- Grandin, U. (2002). Dataanalys och hypotesprövning för statistikanvändare. Naturvårdsverket. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för miljöanalys.
- Hirsmark, J. (2002). Densified Biomass Fuels in Sweden: Country report for the EU/INDEBIF project. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Management and Products, Uppsala.
- Johansson, T. (2010). Överlevnad och tillväxt i planteringar av träd på f.d. åkermark. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för energi och teknik. Uppsala. Rapport 027.
- Kaalela-Brundin, M. (1999b). Summer temperature and precipitation in the mountains of southwest Norway in AD 1700 – 1990 based on tree rings of *Pinus sylvestris* L. I Climate Information From Tree Rings. Doctoral thesis, Department of Forest Vegetation Ecology, Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå.
- Liukko, K. (1997). Climate-Adapted Wet Storage of Saw Timber and Pulpwood. An alternative method of sprinkling and its effect on freshness of round wood and environment.
- Mani, S. (2005). A systems analysis of biomass densification process. Ph.D. dissertation. Vancouver, Canada: University of British Columbia, Chemical and Biological Engineering.
- Melin, S. (2005). Personal Communications. drc@dccnet.com. Delta, BC: Delta Research Center.
- Miljörapport för BooForssjö AB, (2005).
- Rindi Energi AB (2015). *Pellets*. <http://www.rindi.se/pellets/> [2015-03-13].

Ringman, M. (1995). Trädbränslesortiment – definitioner och egenskaper. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för virkeslära, Rapport. (Manuskript).

Robinson, R. (1984). Pelleting. In Manufacture of Animal Feed, ed. D. A. Beaven, 50-53. Herts, England: Turrent-Wheatland Ltd.

Samuels, M.L., Witmer, J.A. & Schaffner, A. (2012). Statistics for the Life sciences. 4. ed. Boston: Pearson Education.

Stahl, M., K. Granstrom, J. Berghel, and R. Renstrom. (2004). Industrial processes for biomass drying and their effects on the quality properties of wood pellets. Biomass and Bioenergy 27(6): 621-628.

Zink-Sharp, A. (2003) The mechanical properties of wood. I: Barnett, J. Jeronimidis, G. WoodQuality and its biological basis. 187 – 210. Gariston: Blackwell Publishing.

Muntliga källor

Wiklund, T. (2012). Råvaruchef Rindi Energi AB. (2012-06-13)